



Науково-популярні лекції «Горизонти науки»

17 травня 2019 року

Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя



Інтелектуальні системи: розумне все і всюди
Андрій Григорович Недошитко

Як працюють наземні станції систем космічного зв'язку
Михайло Олексійович Стрембіцький

Нові визначення одиниць основних фізичних величин в SI
Юрій Скоренький

Екскурсії до лабораторій комп'ютерної інженерії
та електронної мікроскопії



Скоренький Юрій Любомирович

*Завідувач кафедри фізики Тернопільського національного
технічного університету ім. І. Пулюя*

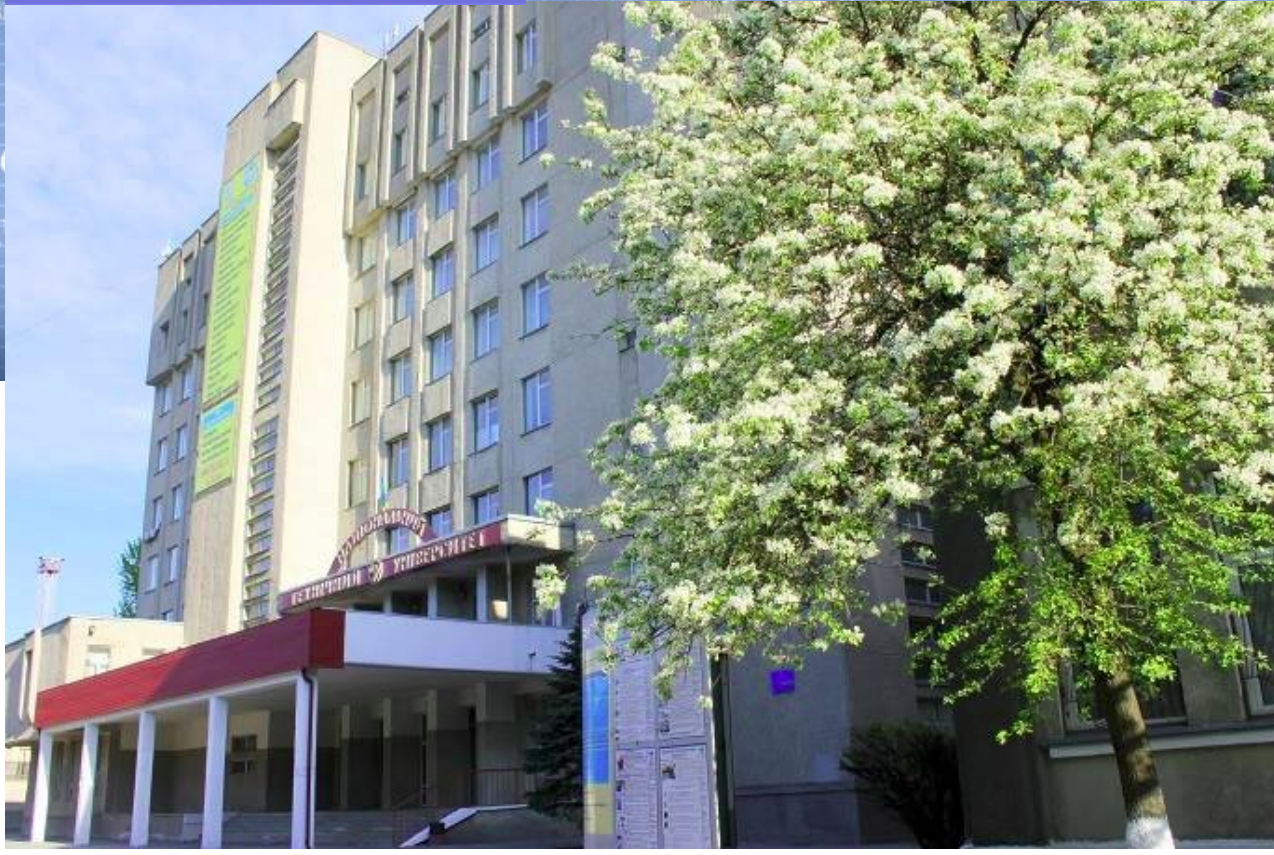
Нові виначення одиниць основних фізичних величин в SI

(чинні з 20 травня 2019 року
за рішенням 26-ї Генеральної конференції мір і ваг)





Тернопільський
національний
технічний
університет





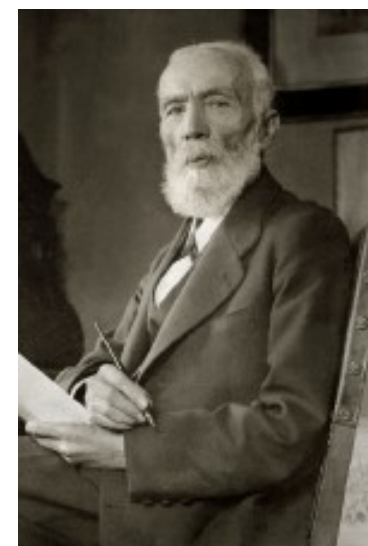
Вільгельм Рентген
(1845-1923)



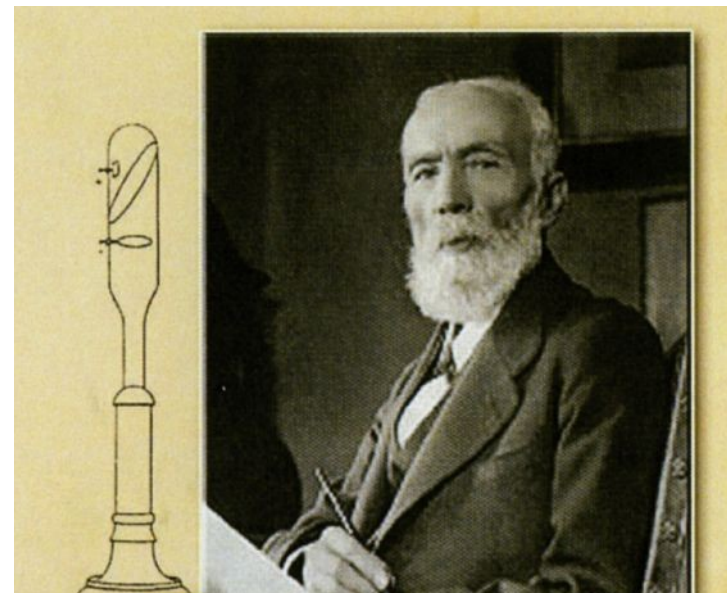
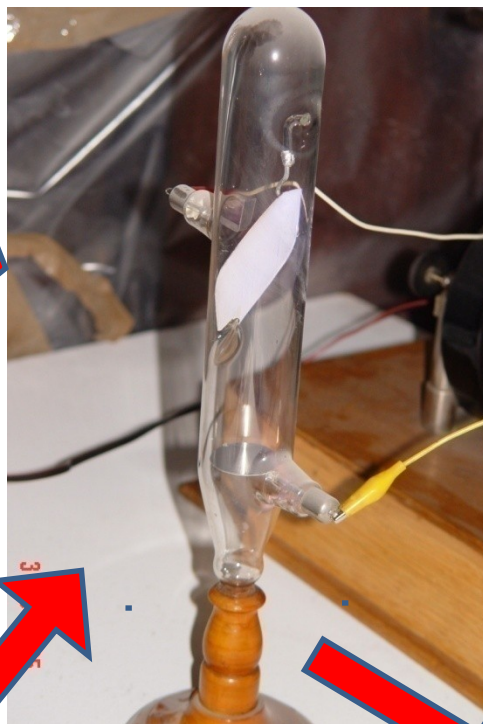
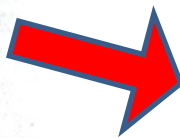
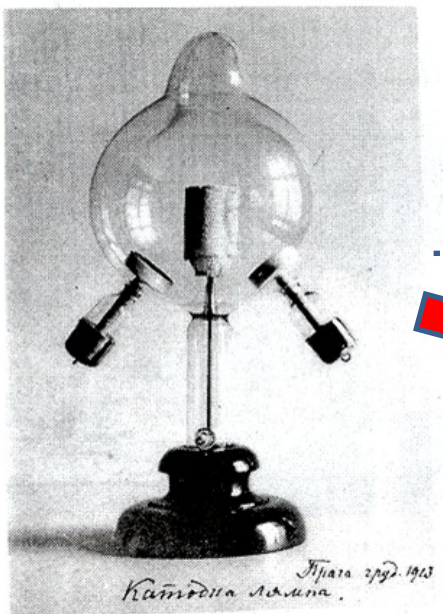
Один з перших (1895 р.) пулюєвих знімків. Рука доньки дослідника Наталі.

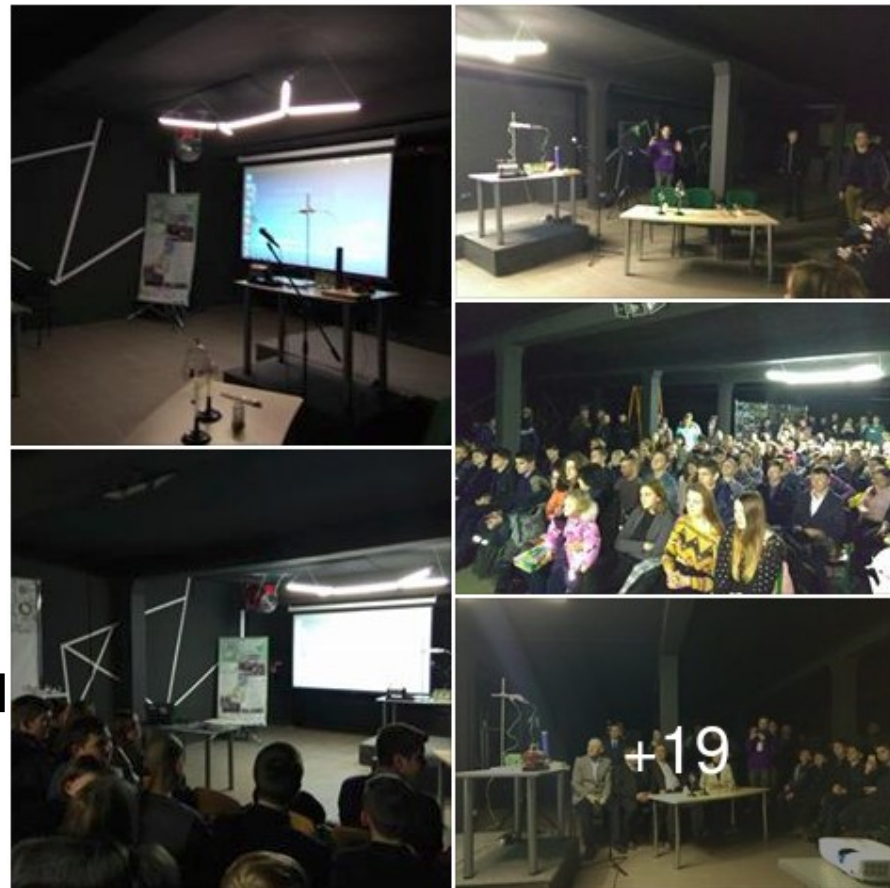


Один з перших пулюєвих (рентгенівських) знімків, ймовірно, якоїсь коштовної оздоби, який проф. І. Пулюй зробив до 1895 р.



Іван Пулюй
(1845-1918)





2 лютого - День народження
Івана Пулюя




$$N_A$$

9 вересня — День народження Олександра Смакули



16 November 2018, the 26th General Conference on Weights and Measures (CGPM)



www.bipm.org/en/cgpm-2018/











Appendix 3. The base units of the SI





Starting from the new definition of the SI described above in terms of fixed numerical values of the defining constants, definitions of each of the seven base units are deduced by taking, as appropriate, one or more of these defining constants to give the following set of definitions, effective from 20 May 2019:

- The second, symbol s, is the SI unit of time. It is defined by taking the fixed numerical value of the caesium frequency $\Delta\nu_{\text{Cs}}$, the unperturbed ground-state hyperfine transition frequency of the caesium 133 atom, to be 9 192 631 770 when expressed in the unit Hz, which is equal to s^{-1} .
- The metre, symbol m, is the SI unit of length. It is defined by taking the fixed numerical value of the speed of light in vacuum c to be 299 792 458 when expressed in the unit m/s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- The kilogram, symbol kg, is the SI unit of mass. It is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.626\,070\,15 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J s, which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- The ampere, symbol A, is the SI unit of electric current. It is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602\,176\,634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- The kelvin, symbol K, is the SI unit of thermodynamic temperature. It is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be $1.380\,649 \times 10^{-23}$ when expressed in the unit J K^{-1} , which is equal to $\text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.
- The mole, symbol mol, is the SI unit of amount of substance. One mole contains exactly $6.022\,140\,76 \times 10^{23}$ elementary entities. This number is the fixed numerical value of the Avogadro constant, N_{A} , when expressed in the unit mol^{-1} and is called the Avogadro number.

The amount of substance, symbol n , of a system is a measure of the number of specified elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.
- The candela, symbol cd, is the SI unit of luminous intensity in a given direction. It is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd} , to be 683 when expressed in the unit lm W^{-1} , which is equal to cd sr W^{-1} , or $\text{cd sr kg}^{-1} \text{m}^{-2} \text{s}^3$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Генеральна конференція мір і ваг

Перша  (1889)	Визначено міжнародний прототип кілограма , виготовлений із сплаву платини й іридію. Прототип зберігається в Міжнародному бюро мір і ваг . Проголошено міжнародний еталон метра .
Друга  (1897)	Жодних резолюцій не було прийнято.
Третя  (1901)	Переозначено літр як об'єм кілограма води . Уточнене означення кілограма як одинці маси , означено «стандартну вагиу», визначено стандартне прискорення вільного падіння , запроваджено використання грама сили .
Четверта  (1907)	Прийнято означення карата як 200 мг.
П'ята  (1913)	Запропоновано міжнародну шкалу температур.
Шоста  (1921)	Переглянуто метричну конвенцію.
Сьома  (1927)	Створено консультативну комісію з електрики.
Восьма  (1933)	Визначено потребу в абсолютних електричних одиницях.
Дев'ята  (1948)	Визначено ампер , бар , кулон , фарад , генрі , джоуль , ньютон , ом , вольт , ват , вебер . Вибрано назву для градуса Цельсія . Мала літера l затверджена як позначення літра. Як кому, так і крапку було прийнято як позначення десяткової частини. Замінено символи для стера і секунди [1]  . Пропонувалося, але не було затверджене загальне повернення до довгої системи нумерації.
Десята  (1954)	Означено кельвін та стандартну атмосферу . Почалося встановлення Міжнародної системи одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, кандела).

Десята  (1954)	Означено кельвін та стандартну атмосферу . Почалося встановлення Міжнародної системи одиниць (метр, кілограм, секунда, ампер, кельвін, кандела).
11-та  (1960)	Метр перевизначено через довжину хвилі світла . Прийнято одиниці: герц , люмен , люкс , тесла . Нова метрична система отримала назву SI , «the modernized metric system». Підтверджено вживання префіксів піко- , нано- , мікро- , мега- , гіга- та тера- .
12-та  (1964)	Повернено початкове означення літра як 1 дм^3 . Затверджено префікси атто- та фемто- .
13-та  (1967)	Перевизначено секунду як тривалість 9 192 631 770 періодів випромінювання, що відповідає переходу між двома надтонкими рівнями основного стану цезію-133 при температурі 0 К. <i>Градус Кельвіна</i> перейменовано в <i>кельвін</i> . Змінено означення <i>кандели</i> .
14-та  (1971)	Визначено нову основну одиницю SI — моль . Затверджено одиниці паскаль , сіменс .
15-та  (1975)	Затверджено префікси пета- та екса- . Запроваджено радіологічні одиниці грей та бекерель .
16-та  (1979)	Визначено одиниці кандела , зіверт . Затверджено використання для позначення літра символів l та L .
17-та  (1983)	Метр визначено через швидкість світла .
18-та  (1987)	Прийнято договірне значення для сталої Джозефсона, K_J , та сталі фон Клітцинга , R_K , готуючись до перевизначення ампера й кілограма.
19-та  (1991)	Запроваджено нові префікси йокто- , zepto- , зета- та йота- .
20-та  (1995)	Додаткові одиниці SI радіан та стерадіан стали похідними одиницями.

- 20-та 
(1995) Додаткові одиниці **СИ** **радіан** та **стерадіан** стали похідними одиницями.
- 21-ша 
(1999) Затверджено нову одиницю **СИ** **катал** = **моль** за секунду для каталітичної активності.
- 22-га 
(2003) Підтверджено вживання коми або крапки для позначення десяткової частини, але не для групування символів з метою полегшення читання: «числа можуть бути розділені на трійки для полегшення читання, ні крапки, ні коми не вставляються в проміжки між групами»^[1].
- 23-тя 
(2007) Роз'яснення щодо кельвіна та ідеї щодо перевизначення деяких **основних одиниць SI**.
- 24-та 
(2011) Затверджено проект майбутнього переозначення основних одиниць **SI**.
- 26-та 
(2018) Переглянуто визначення одиниць **СИ** **кілограм**, **ампер**, **кельвін** та **моль** через відповідні фундаментальні стали: **Планка**, **елементарний заряд**, **Больцмана** та **Авогадро**, оновлені значення яких також було затверджено.^[2]

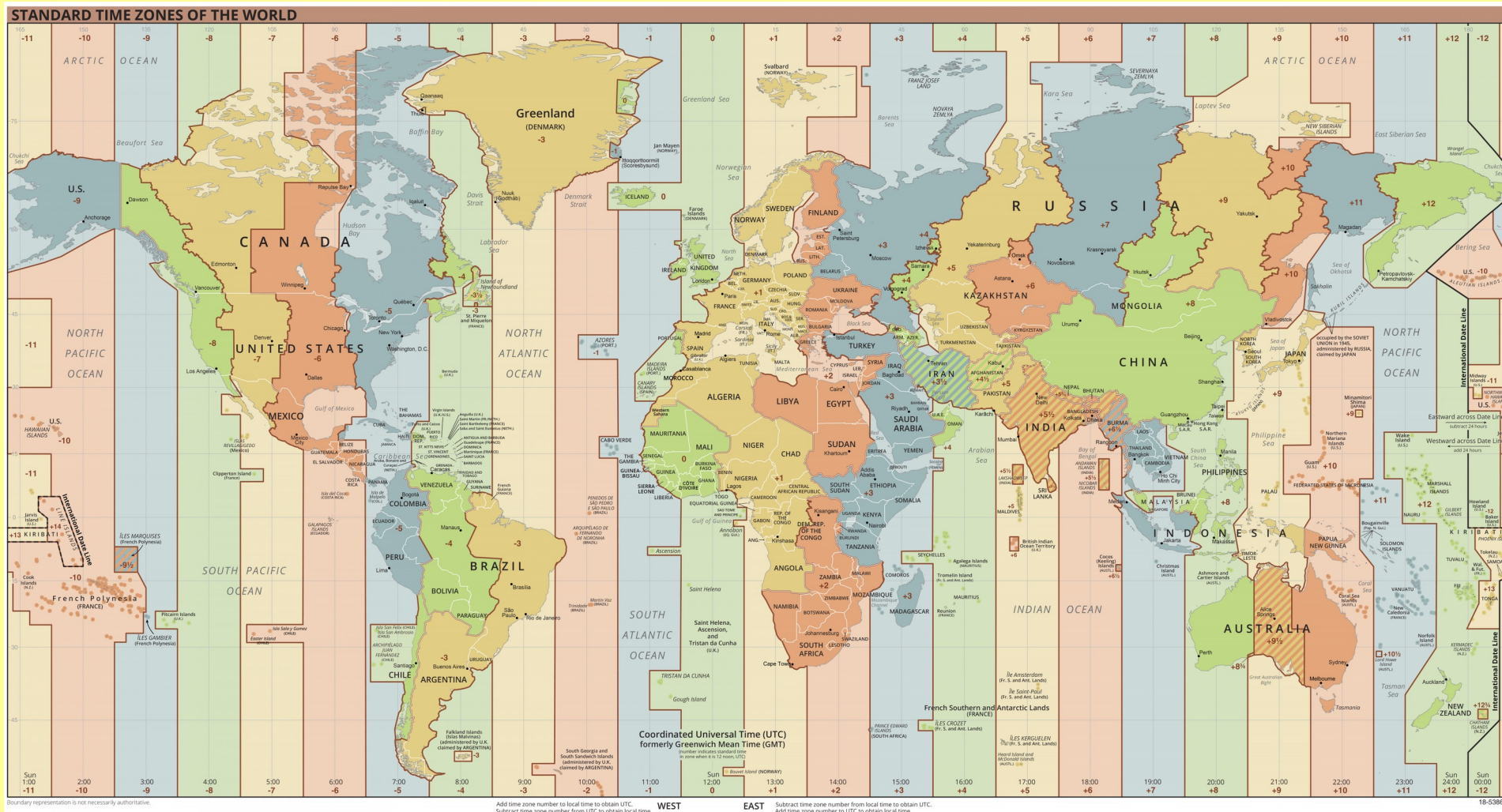
Країни-учасники Генеральної конференції мір і ваг

Member States [\[edit \]](#)

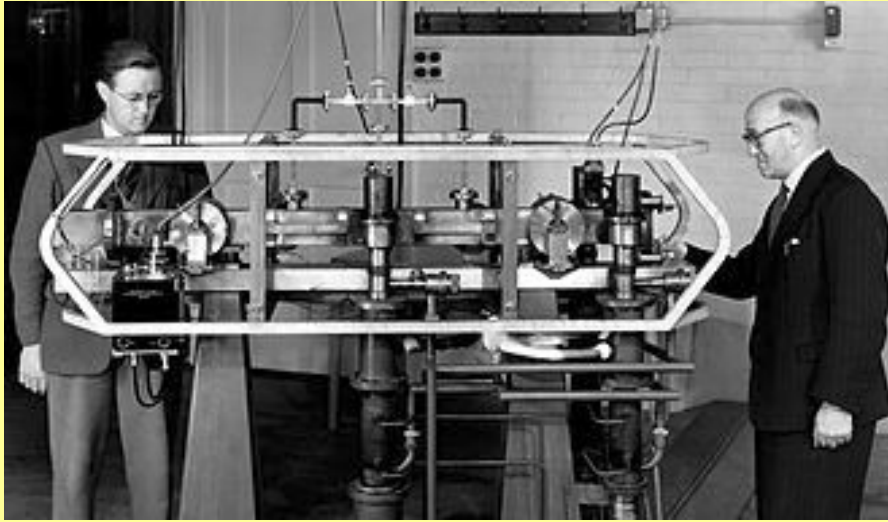
 Argentina (1877)	 India (1997)	 Romania (1884)
 Australia (1947)	 Indonesia (1960)	 Russia (1875) ^[n1 4]
 Austria (1875) ^[n1 1]	 Iran (1975)	 Saudi Arabia (2011)
 Belgium (1875)	 Iraq (2013)	 Serbia (2001)
 Brazil (1921)	 Ireland (1925)	 Singapore (1994)
 Bulgaria (1911)	 Israel (1985)	 Slovakia (1922) ^[n1 2]
 Canada (1907)	 Italy (1875)	 Slovenia (2016)
 Chile (1908)	 Japan (1885)	 South Africa (1964)
 China (1977)	 Kazakhstan (2008)	 South Korea (1959)
 Colombia (2012)	 Kenya (2010)	 Spain (1875)
 Croatia (2008)	 Lithuania (2015)	 Sweden (1875) ^[n1 3]
 Czech Republic (1922) ^[n1 2]	 Malaysia (2001)	 Switzerland (1875)
 Denmark (1875)	 Mexico (1890)	 Thailand (1912)
 Egypt (1962)	 Montenegro (2018)	 Tunisia (2012)
 Finland (1923)	 Netherlands (1929)	 Turkey (1875) ^[n1 5]
 France (1875)	 New Zealand (1991)	 Ukraine (2018)
 Germany (1875)	 Norway (1875) ^[n1 3]	 United Arab Emirates (2015)
 Greece (2001)	 Pakistan (1973)	 United Kingdom (1884)
 Hungary (1925)	 Poland (1925)	 United States (1878)
	 Portugal (1876)	 Uruguay (1908)

Resolution 2

The General Conference on Weights and Measures (CGPM), at its 26th meeting,



“Атомні годинники”

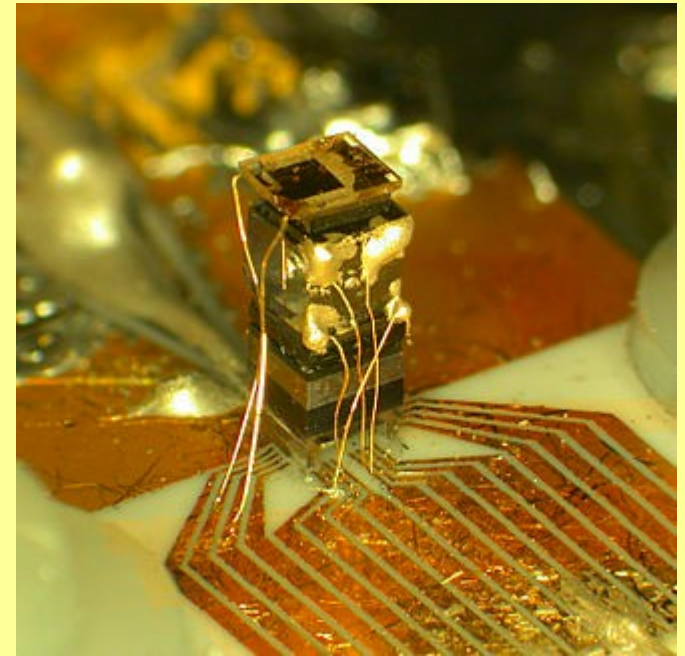


Louis Essen (right) and Jack Parry (left) standing next to the world's first caesium-133 atomic clock.

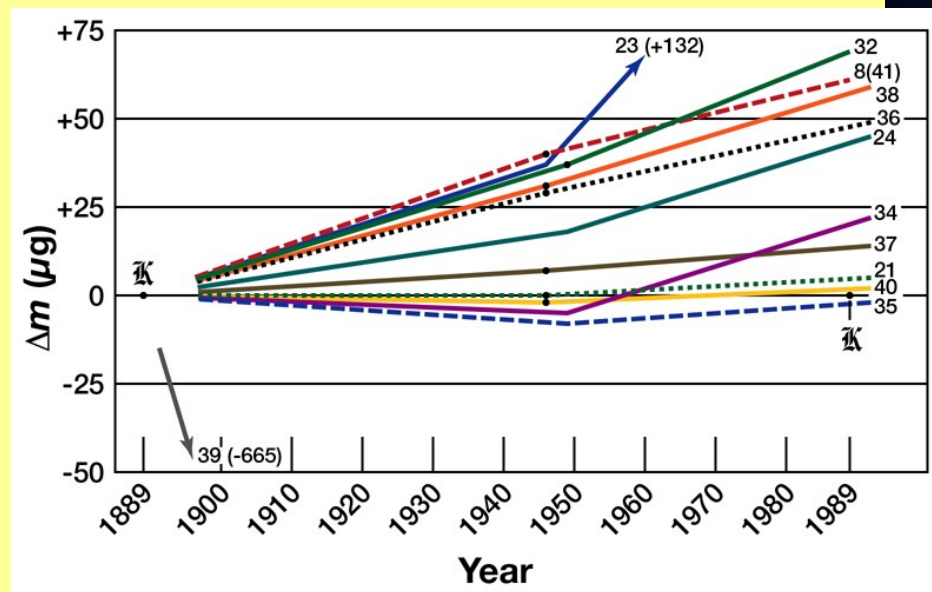
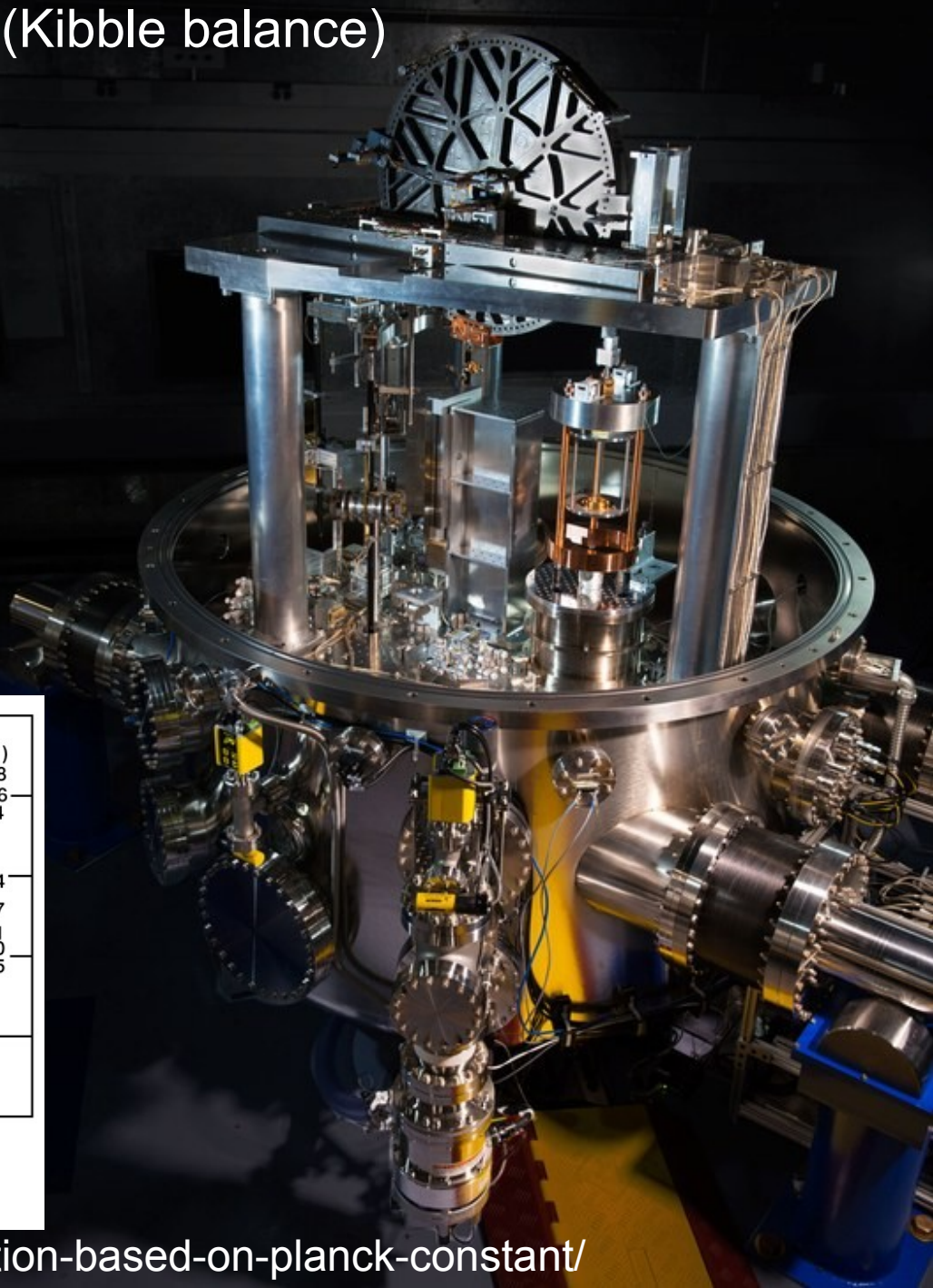


Rb oscillator

Chip-scale atomic clocks, such as this one unveiled in 2004, are expected to greatly improve GPS location.



Одиниця маси і ватові терези (Kibble balance)



Photographs by Brian Resnick



The Kibble balance is the machine that makes the redefinition of the kilogram possible.

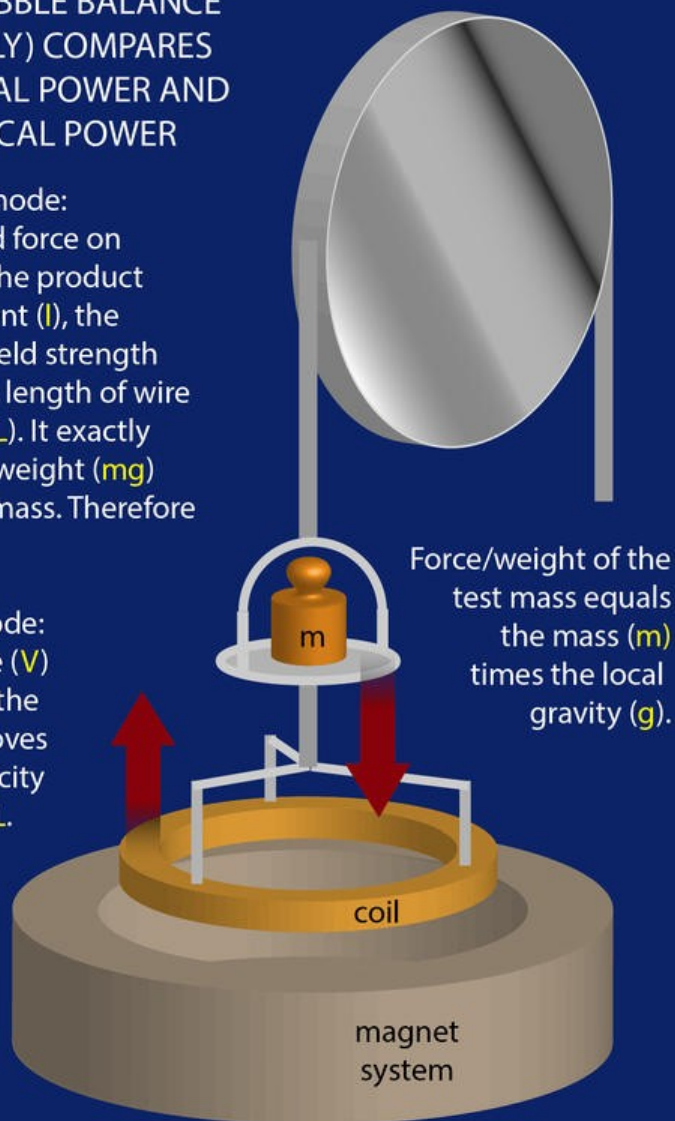
HOW A KIBBLE BALANCE (VIRTUALLY) COMPARES ELECTRICAL POWER AND MECHANICAL POWER

Weighing mode:

The upward force on the coil is the product of the current (I), the magnetic field strength (B), and the length of wire in the coil (L). It exactly equals the weight (mg) of the test mass. Therefore $mg = IBL$.

Velocity mode:

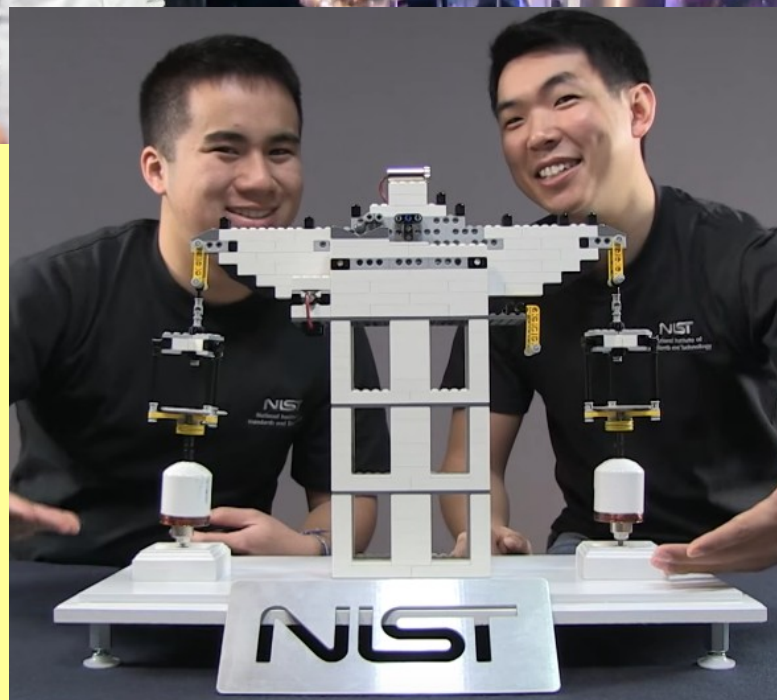
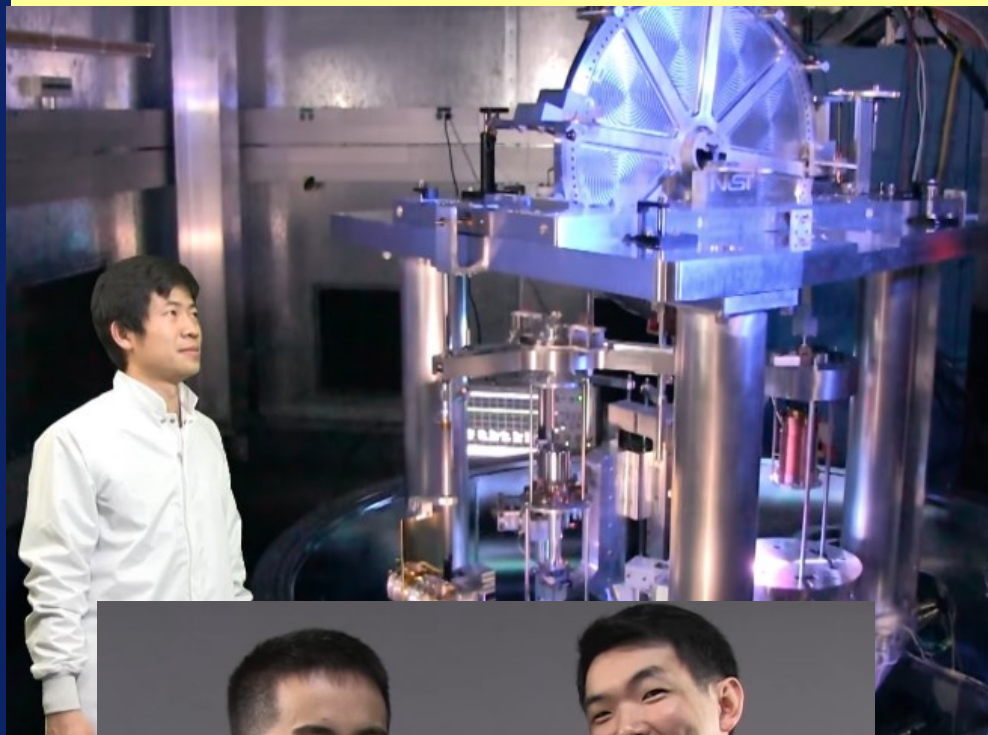
The voltage (V) induced in the coil as it moves equals velocity (v) times BL .



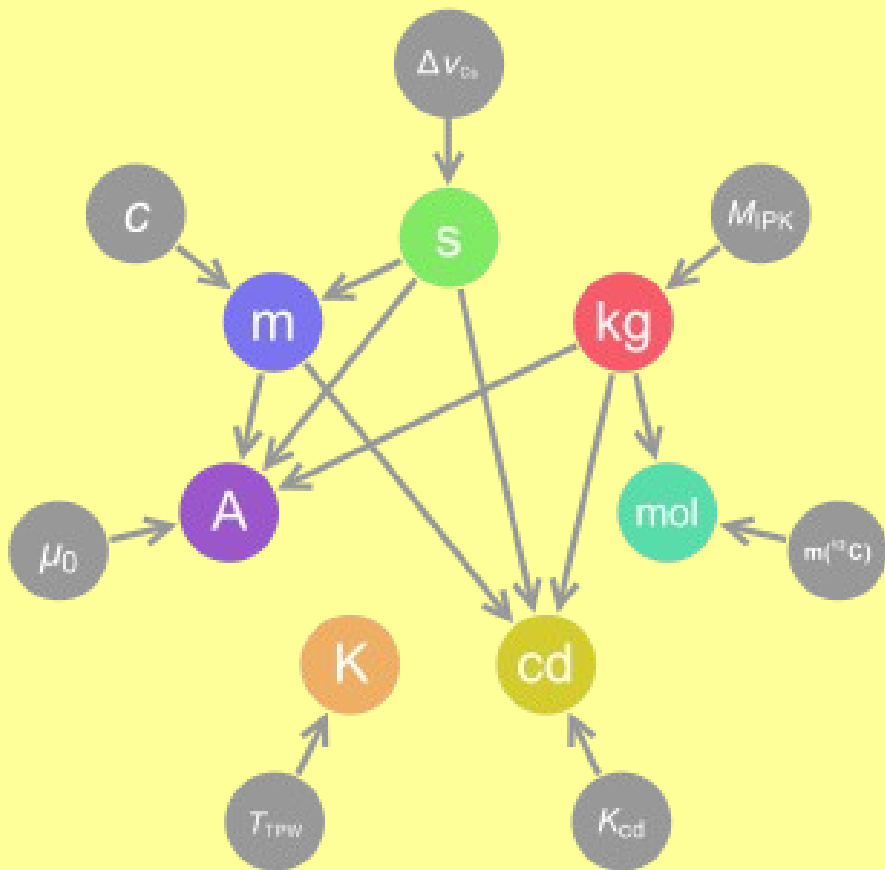
Weighing Mode: $mg = IBL$ Velocity Mode: $V = vBL$
so $mg/I = BL$ so $V/v = BL$

BL is the same in each case and cancels out. Thus
 IV (watts elec. power) = mgv (watts mech. power)

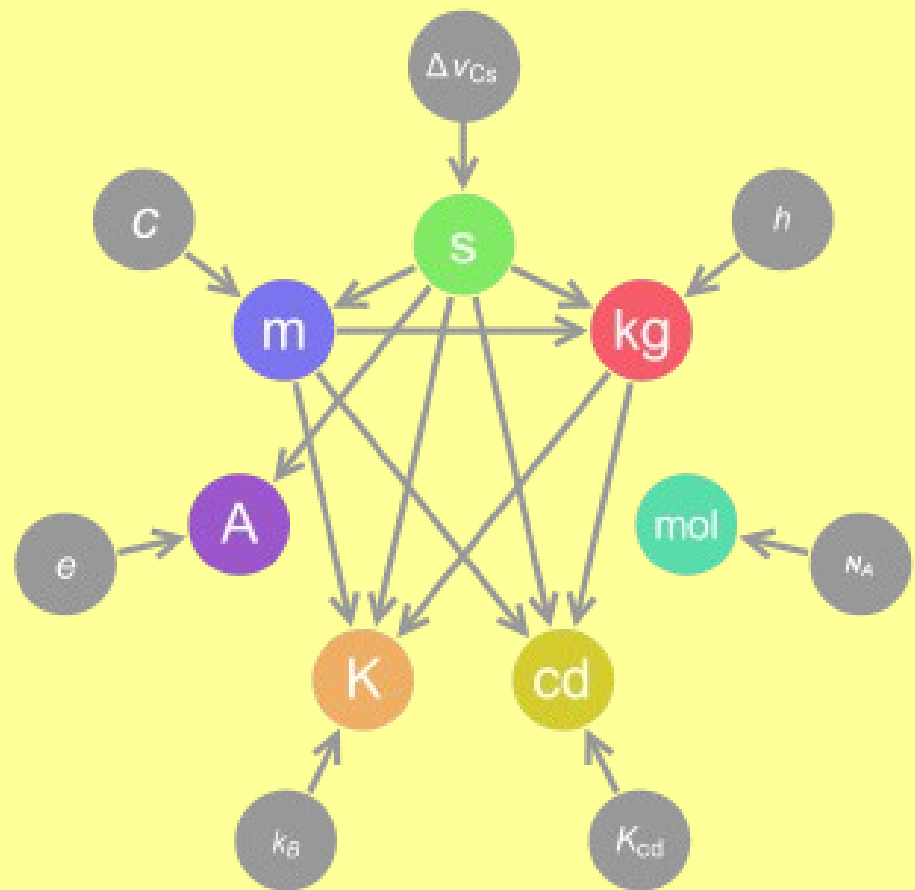
<https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-kibble-balance>



Old SI



New SI



The SI system before the redefinition:
Dependence of base unit definitions on other base units (for example, the metre is defined in terms of the distance travelled by light in a specific fraction of a second), with the constants of nature and artefacts used to define them (such as the mass of the IPK for the kilogram).

The SI system after the redefinition:
Dependence of base unit definitions on physical constants with fixed numerical values and on other base units that are derived from the same set of constants.

Kilogram is defined by taking the fixed numerical value of the Planck constant h to be $6.62607015 \times 10^{-34}$ when expressed in the unit J·s, which is equal to $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, where the metre and the second are defined in terms of c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Ampere is defined by taking the fixed numerical value of the elementary charge e to be $1.602176634 \times 10^{-19}$ when expressed in the unit C, which is equal to A·s, where the second is defined in terms of $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

Kelvin is defined by taking the fixed numerical value of the Boltzmann constant k to be 1.380649×10^{-23} when expressed in the unit J·K⁻¹, which is equal to $\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

One **mole** contains exactly $6.02214076 \times 10^{23}$ elementary entities. An elementary entity may be an atom, a molecule, an ion, an electron, any other particle or specified group of particles.

Candela is defined by taking the fixed numerical value of the luminous efficacy of monochromatic radiation of frequency 540×10^{12} Hz, K_{cd} , to be 683 when expressed in the unit lm·W⁻¹, which is equal to cd·sr·W⁻¹, or cd·sr·kg⁻¹·m⁻²·s³, where the kilogram, metre and second are defined in terms of h , c and $\Delta\nu_{\text{Cs}}$.

- $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$
- $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ A} \cdot \text{s}$
- $k = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$
- $N_{\text{A}} = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- $c = 299\,792\,458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$
- $\Delta\nu_{\text{Cs}} = \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{hfs} = 9\,192\,631\,770 \text{ s}^{-1}$
- $K_{\text{cd}} = 683 \text{ cd} \cdot \text{sr} \cdot \text{s}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$

uk.wikipedia.org/wiki/Число_Авогадро

$$N_A = 6.022\,140\,857(74) \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$



Densities and Imperfections of Single Crystals

September 1955 · Physical Review 99(6):1747-1750

DOI: 10.1103/PhysRev.99.1747

A. Smakula · J. Kalnajs · V. Sils

$$6.02368 \times 10^{23} \text{ mole}^{-1}$$

A new determination of Avogadro's number from lattice constant and density of single crystals

February 1957 · Il Nuovo Cimento 6(S1):214-220

DOI: 10.1007/BF02724776

A. Smakula · J. Kalnajs

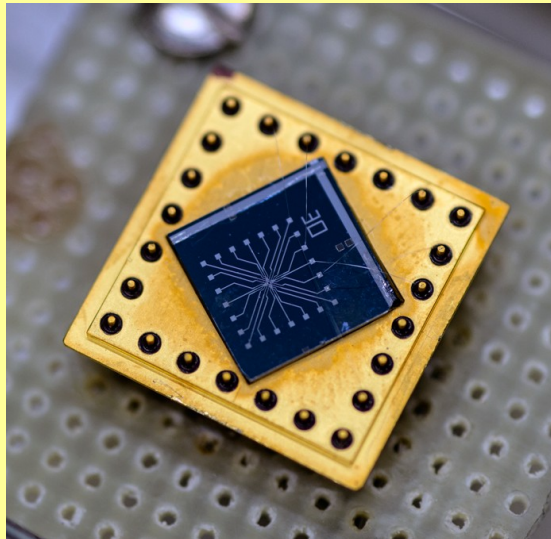
<https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-silicon-spheres-and-international-avogadro-project>



NIST



$6.626\,069\,83 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}$
 $6.626\,069\,83 \times 10^{-34} \text{ kg m}^2/\text{s}$



Single-electron transport
(SET) chip that could be
used to count electrons in a
redefined ampere.



<https://www.nist.gov/si-redefinition/kilogram-silicon-spheres-and-international-avogadro-project>

- $h = 6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{s}^{-1}$
- $e = 1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \text{ A}\cdot\text{s}$
- $k = 1.380\,649 \times 10^{-23} \text{ kg}\cdot\text{m}^2\cdot\text{K}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$
- $N_A = 6.022\,140\,76 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$
- $c = 299\,792\,458 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$
- $\Delta\nu_{\text{Cs}} = \Delta\nu(^{133}\text{Cs})_{\text{hfs}} = 9\,192\,631\,770 \text{ s}^{-1}$
- $K_{\text{cd}} = 683 \text{ cd}\cdot\text{sr}\cdot\text{s}^3\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$

$$1\text{C} = \frac{9\,192\,631\,770}{\Delta\nu_{\text{Cs}}}$$

$$1\text{m} = \frac{c \cdot 1\text{C}}{299\,792\,458}$$

$$1\text{kg} = \frac{h \cdot 1\text{C}}{6.626\,070\,15 \times 10^{-34} \cdot 1\text{m}^2}$$

$$1\text{K} = \frac{1.380\,649 \times 10^{-23} \cdot 1\text{m} \cdot 1\text{m}^2}{k_B \cdot 1\text{C}^2}$$

$$1\text{A} = \frac{e}{1.602\,176\,634 \times 10^{-19} \cdot 1\text{C}}$$

$$\alpha = e^2/\hbar c,$$

P.A.M. Dirac, Nature 139 (1937) 323; Proc. Roy. Soc. A165 (1938) 199.

MCTP-02-43
 hep-th/0208093

Comment on time-variation of fundamental constants

M. J. Duff¹

*Michigan Center for Theoretical Physics
 Randall Laboratory, Department of Physics, University of Michigan
 Ann Arbor, MI 48109-1120, USA*

IHES/P/96/40

IASSNS-HEP-96/62

The Oklo bound on the time variation of the fine-structure constant revisited

Thibault Damour^{a,b,c}, Freeman Dyson^b

$$-0.9 \times 10^{-7} < (\alpha^{\text{Oklo}} - \alpha^{\text{now}})/\alpha < 1.2 \times 10^{-7}$$

$$\alpha = 1/137.0359895(61)$$

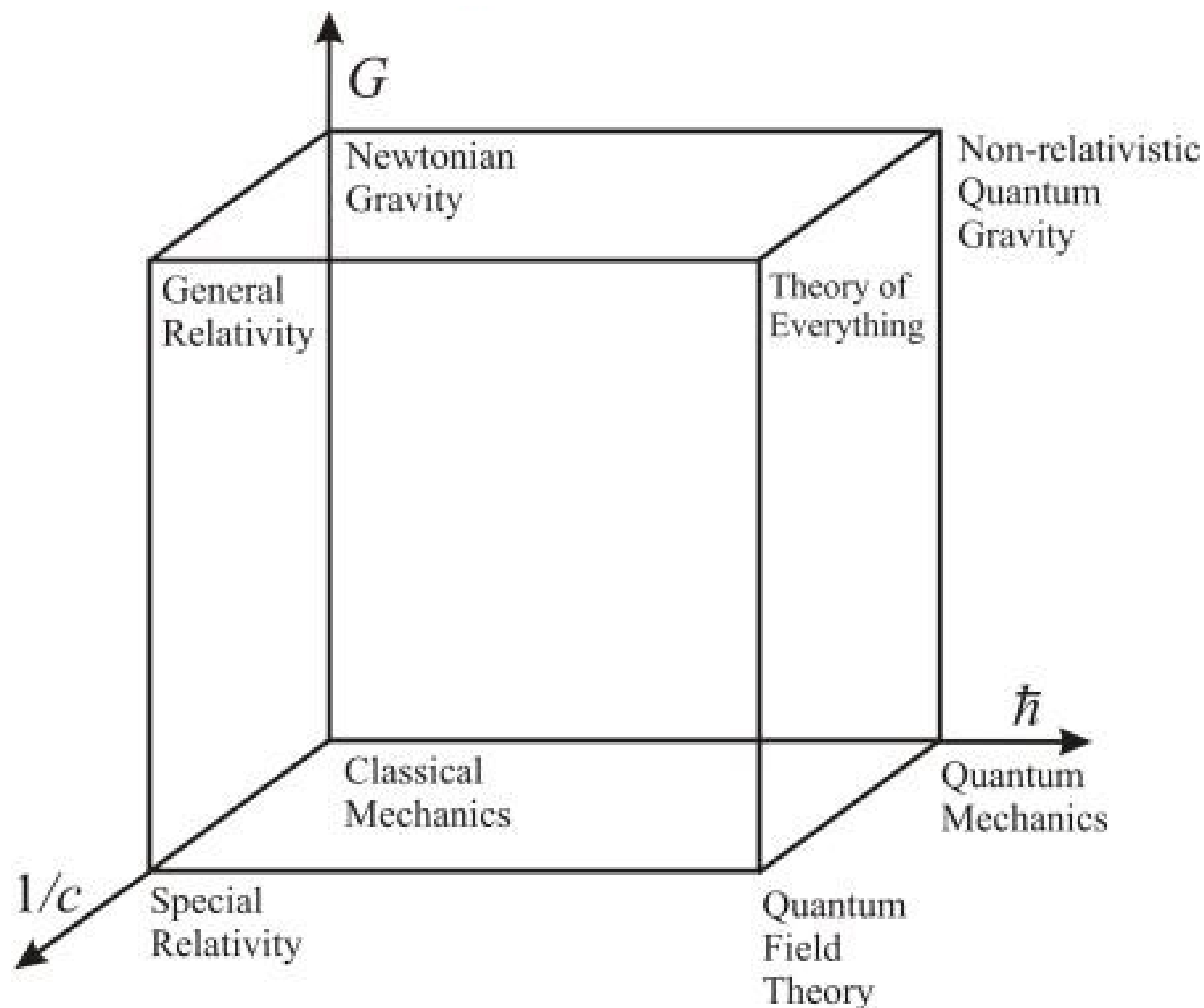
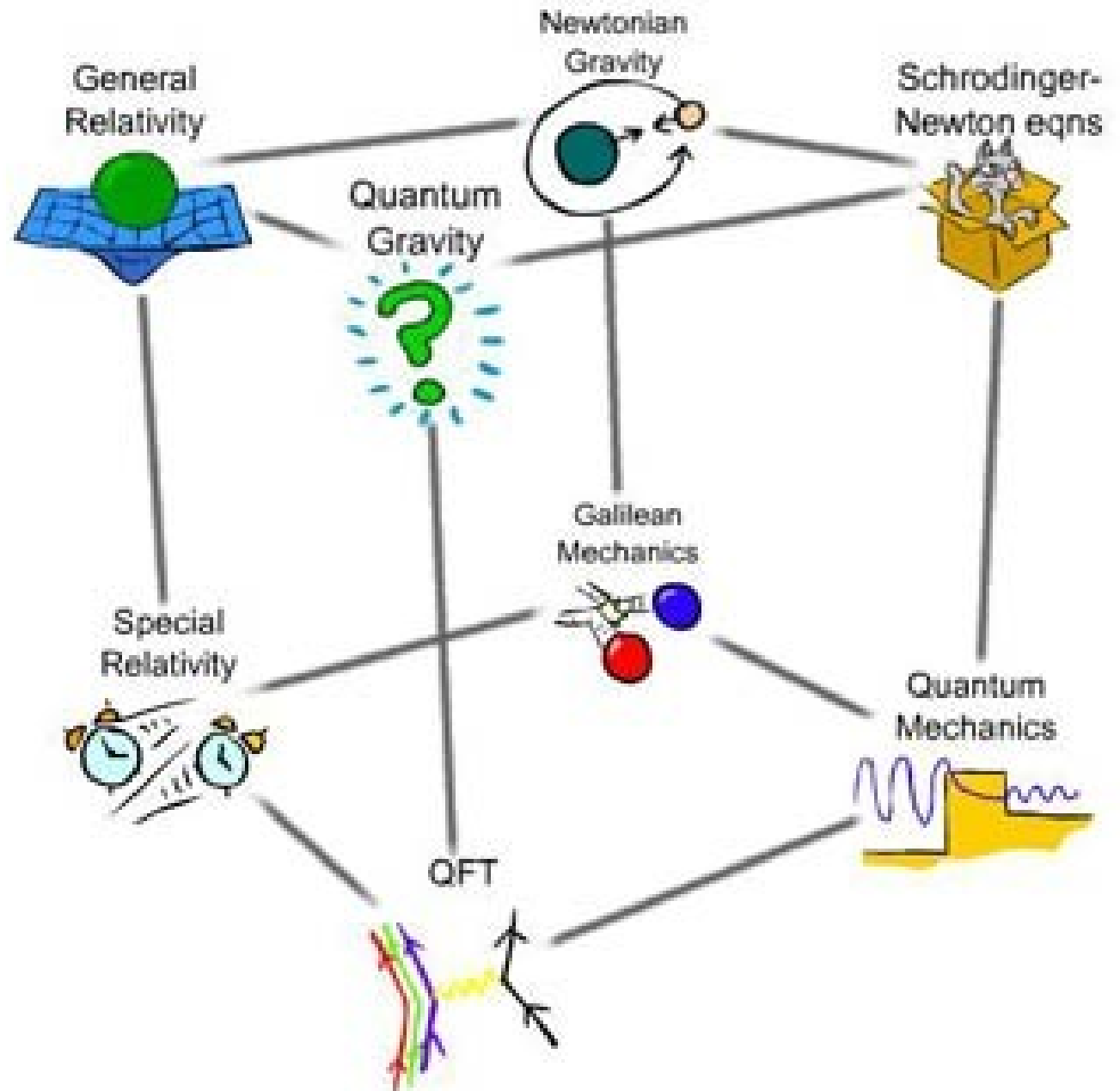


Fig. 1.1: The landscape of theoretical physics can be concisely described by a cube — The Cube of Theoretical Physics — whose axes represents the three fundamental constants G , \hbar and c^{-1} . The vertices and linkages describe different structural properties



*До зустрічі в неділю на
наукових пікніках на
театральному майдані!*